PENGEMBANGAN SISTEM VISION DALAM PENGUJIAN EKSENTRISITAS PADA *UPPER BEARING* KWH METER

VISION SYSTEM DEVELOPMENT IN ECCENTRICITY TESTING FOR KWH METER UPPER BEARING

Emilham Mirshad

Badan Penelitian dan Pengembangan, Pemerintah Provinsi Sumatera Barat,
Jalan Sudirman Nomor 51 Padang, Indonesia, 25113

E-mail: emilhammirshad@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received date:

4 October 2016

Received in revised form date:

17 May 2017

Accepted date:

11 July 2017

Available online date:

31 May 2018

Abstract

Eccentricity measurement techniques are developed to ensure optimization of operational works, either for large or small objects such as upper bearing kWH meter. Small object eccentricity testing has been done by using precise and sensitive touch trigger probing and a special software that makes it expensive. This study developed a more economical vision system in eccentricity testing. It consists of bearing holder and CCD microscope as an image recorder and computerized image processing. It uses three tested bearing during image recording process, which obtained 12 images from each tested bearing taken from every 30° angle, and one image as registration reference. Image registration process is conducted to correct imperfections bearing mounting into its holder and use centroid method to test the eccentricity of upper bearing kWH meter. This study is succeed in making an eccentricity testing prototype of upper bearing kWH meter which obtained result of 2nd bearing has its largest standard deviation. From all standard deviation value obtained that x -axis (horizontal) standard deviation is larger than y-axis (vertical) which means that detection of x direction is more accurate than y direction. To enhance precision image acquisition in the next study, it is expected the use of a computer system with homogeneous illumination is enabled.

Keyword: Upper bearing, kWH meter, Vision system, Image registration, Centroid, Standard deviation

Kata Kunci:

Upper bearing
kWH meter
Sistem vision
Registrasi citra
Pusat massa
Standar deviasi

Abstrak

Teknik pengukuran eksentrisitas banyak dikembangkan untuk menjamin optimalisasi operasional kerja pada objek besar maupun kecil seperti *upper bearing* kWH meter. Pengujian eksentrisitas objek kecil telah dilakukan sebelumnya dengan memakai teknik *touch-trigger probes* yang presisi dan sensitif serta menggunakan perangkat lunak khusus sehingga mahal. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan pengujian dengan sistem vision yang lebih ekonomis. Sistem vision terdiri atas pegangan *bearing* dan mikroskop CCD sebagai perekam citra serta pengolahan citra secara komputerisasi. Proses perekaman citra dilakukan dengan menggunakan tiga buah *bearing* uji dan dari setiap *bearing* diperoleh 12 citra *bearing* yang diambil pada setiap 30° sudut pengambilan dan satu citra sebagai referensi registrasi. Proses registrasi citra dilakukan untuk mengoreksi ketidaksempurnaan pemasangan *bearing* pada pegangannya serta menggunakan metode pusat massa untuk menguji eksentrisitas *upper bearing* kWH meter. Penelitian ini berhasil membuat prototipe pengujian eksentrisitas *upper bearing* kWH meter dengan hasil *bearing* kedua memiliki simpangan baku terbesar. Dari semua nilai simpangan baku yang diperoleh menunjukkan bahwa simpangan baku sumbu *x* (horizontal) lebih besar dari sumbu *y* (vertikal) yang berarti bahwa pendeteksian pada arah *x* lebih akurat dibandingkan pada arah *y*. Untuk menyempurnakan presisi pengambilan citra pada penelitian berikutnya diharapkan dapat menggunakan sistem komputer dengan pencahayaan homogen.

©2018Widyariset. All rights reserved

PENDAHULUAN

Pada umumnya teknik pengujian eksentrisitas lebih banyak dikembangkan pada objek besar seperti pengujian eksentrisitas mesin listrik, turbin, mesin penggiling, transmisi gigi, gulungan wol, pompa step ganda, dan pipa (Kim 2001; Li, Shi, and Jiang 2015; Niskanen, Muetze, and Ahola 2014; Schalk, Ofner, and O'Leary 2007; Ueda et al. 1999; Woziwodzki, Broniarz-Press, and Ochowiak 2010; Yuerong Peng, Xide Lai, Weibin Zhang, Qiuqin Gou 2015; Yu, Mechefske, and Timusk 2017). Di sisi lain, pengujian eksentrisitas pada objek kecil dalam orde sentimeter juga perlu dilakukan untuk menjamin kinerja optimal suatu alat. Akan tetapi tidak semua teknik pengujian untuk objek besar dapat digunakan secara langsung untuk pengujian objek kecil, seperti *upper bearing* kWH

meter induksi. Evaluasi eksentrisitas *upper bearing* diperlukan karena menjadi penentu kelayakan fungsi dari kWH meter dan akurasi pencatatan kWH meter induksi (Derganc, Likar, and Pernuš 2003). Beberapa teknik yang dikenal untuk pengukuran eksentrisitas objek kecil adalah dengan menggunakan sensor pemicu sentuhan (*touch-trigger probes*). Teknik pengukuran ini terdiri atas sebuah komponen mekanik yang terpasang sensor sentuh, unit kontrol, dan komputer digital. Hasil pendeteksian ini diproses dengan menggunakan perangkat lunak khusus ke dalam bentuk tiga dimensi (Bosch 2012). Di dalam melakukan pengujian eksentrisitas, teknik ini menjadi tidak ekonomis. Penelitian yang lain telah mengembangkan teknik pengukuran sistem *vision* yang lebih ekonomis (Derganc, Likar, and Pernuš 2003).

Penelitian ini mengembangkan sistem vision pengujian eksentrisitas *upper bearing* kWH meter dengan menggunakan kamera analog, *frame grabber*, dan Transformasi Hough untuk analisis citra. Transformasi Hough sensitif terhadap homogenitas pencahayaan dan *noise* kamera. Penentuan eksentrisitas pada suatu citra dapat menggunakan sebuah sumbu referensi yang ditentukan secara manual (Derganc, Likar, and Pernuš 2003). Penelitian tersebut juga tidak menuliskan secara detail rancangan sistem *vision* serta tidak ditentukannya nilai ketidakpastian pengukuran. Pada penelitian ini akan dikembangkan prototipe sistem *vision* untuk melakukan pengujian eksentrisitas *upper bearing* kWH meter dengan menggunakan metode pusat massa. Prototipe dirancang dengan memperhatikan aspek kestabilan dan menggunakan bahan-bahan yang mudah didapat di pasaran, sehingga lebih ekonomis. Penelitian ini mengevaluasi 12 citra uji dari berbagai posisi dan menggunakan satu citra referensi registrasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem *vision* pengujian eksentrisitas *upper bearing* kWH meter menggunakan metode pusat massa.

kWH Meter

kWH meter merupakan alat ukur integrasi yang digunakan untuk mengukur besarnya energi listrik dalam satuan *kilowatt hour*. kWH meter terdiri atas kumparan tegangan, kumparan arus, magnet permanen, piringan, *register*, dan *bearing*. Kumparan arus dan tegangan menghasilkan medan magnet yang selalu berubah sesuai dengan beban. Gaya magnet yang selalu berubah ini menembus sebagian piringan yang menyebabkan terjadinya arus Eddy, sehingga menjadikan piringan menjadi berputar. Piringan ini dipertahankan oleh dua buah *bearing*, yaitu *upper* dan *lower bearing*.

Lower bearing berfungsi untuk mempertahankan posisi sumbu piringan sedangkan *upper bearing* berfungsi mempertahankan sumbu aksis dan menahan getaran.

Sumber Kesalahan kWH Meter Induksi

Kesalahan dalam pengaturan torka dapat disebabkan oleh (Bird 2001): magnitud *fluks* yang tidak tepat, hubungan fasa *fluks* yang tidak tepat, perubahan resistansi jalur arus Eddy pada piringan dan beban ringan, serta struktur magnetis yang kurang simetris

Di dalam bukunya, Bird (2001) juga merinci penyebab kemungkinan kesalahan perlambatan torka, di antaranya: perubahan kekuatan tarikan magnet, perubahan resistansi piringan, perlambatan torka, dan friksi

Friksi merupakan kompensasi putaran *fluks* pada piringan dari magnet permanen. Friksi terjadi pada komponen yang bergerak di antaranya adalah piringan/piringan, batangan piringan, dan *bearing* yang menompang batang piringan. Sumber friksi lainnya adalah piringan yang kurang tepat, cacat pada *upper bearing* atau *lower bearing*, dan cacat pada *register*.

Sistem Pengukuran Eksentrisitas pada Bearing kWH Meter

Eksentrisitas *bearing* dapat dilihat pada Gambar 1. Eksentrisitas ditentukan dari perbandingan antara garis simetris silinder *bearing* (ne) dan garis referensi (ref). Bidang tengah trapesium yang dimisalkan oleh titik PQRS dipilih sebagai representasi eksentrisitas *e* pada posisi *upper bearing* tertentu. Nilai *E* merupakan nilai bidang tengah *e* terbesar. Nilai rata-rata tinggi trapesium dipresentasikan oleh panjang jarum *D* yang keluar dari silinder. Nilai Eksentrisitas (*E*) yang baik harus kurang dari 0.1 mm dengan panjang *d* jarum harus

1.2 ± 0.1 mm (Derganc, Likar, and Pernuš 2003).

Gambar 1. Eksenstrisitas *upper bearing*

Proses Registrasi Citra

Proses registrasi citra adalah proses untuk menjadikan citra uji sejajar dengan citra referensi. Yang dimaksud dengan citra referensi adalah citra yang selalu tetap selama registrasi. Transformasi tersebut kemudian dihitung dan dioptimalkan berdasarkan sistem koordinat citra. Sementara citra uji merupakan citra yang diubah secara spasial hingga ditemukannya bentuk yang paling mirip dengan citra referensi. Walaupun ada banyak teknik yang berbeda dan konfigurasi pada literatur untuk melakukan registrasi citra, konfigurasi dasar yang hampir selalu digunakan adalah seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Sistem diagram proses registrasi citra (Yang, Kpalma, and Ronsin 2008)

Untuk setiap titik (x_1, x_2) pada citra, sebuah pemetaan *affine* dapat ditentukan ke dalam koordinat ruang yang lain (y_1, y_2) yang digambarkan menjadi (Yang, Kpalma, and Ronsin 2008):

$$y_1 = m_{11}x_1 + m_{12}x_2 + m_{13} \quad (1)$$

$$y_2 = m_{21}x_1 + m_{22}x_2 + m_{23} \quad (2)$$

Pemetaan ini sering diekspresikan dalam perkalian matrik sederhana $(y = Mx)$:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Di dalam melakukan pengujian eksenstrisitas *upper bearing*, teknik registrasi secara translasi dan rotasi dua dimensi (2D) digunakan untuk mengembalikan posisi *bearing* sesuai dengan posisi referensi. Teknik registrasi secara translasi merupakan proses pemindahan objek pada arah lurus. Adapun teknik registrasi secara rotasi untuk mengembalikan objek pada posisi referensi dengan memperhitungkan sudut putaran (Yang, Kpalma, and Ronsin 2008).

Registrasi secara translasi

Translasi sangat sederhana untuk diterapkan. Jika sebuah titik x ditranslasikan dengan unit q , lalu transformasinya menjadi: $y = x + q$

Di dalam persamaan matrik, transformasinya memenuhi persamaan:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & q_1 \\ 0 & 1 & q_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Registrasi secara rotasi

Pada dua dimensi, rotasi digambarkan dengan sebuah sudut. Dengan memperhatikan sebuah titik pada koordinat (x_1, x_2) , sebuah rotasi dari titik ini ke koordinat baru

(y_1, y_2) sebesar θ radian di titik pusat, dapat menghasilkan transformasi:

$$y_1 = \cos(\theta) x_1 + \sin(\theta) x_2 \quad (5)$$

$$y_2 = -\sin(\theta) x_1 + \cos(\theta) x_2 \quad (6)$$

Secara sederhana, bidang rotasi normalnya berada pada axis. Sebuah rotasi sebesar q_1 radian pada axis (x) , ditunjukkan oleh:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & \sin(q_1) & 0 \\ -\sin(q_1) & \cos(q_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Pusat Massa

Pusat gravitasi juga disebut dengan pusat massa atau *centroid*. Posisi pusat massa selalu tetap yang berkaitan dengan bentuk. Telah banyak penelitian dikembangkan dengan menggunakan metode pusat massa (Liu et al. 2015; Xu et al. 2013; Ye et al. 2015; Zahra et al. 2015; Zhao et al. 2015; Zhu and Ma 2016). Di dalam pengenalan bentuk pola, Yang, Kpalma, and Ronsin (2008) merumuskan fungsi umum $f(x,y)$ adalah

$$f(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{if } (x,y) \in D \\ 1 & \text{yang lainnya} \end{cases} \quad (8)$$

dimana D merupakan wilayah bentuk biner. Pusat massanya (g_x, g_y) adalah

$$\begin{cases} g_x = \frac{1}{N_x} \sum_{i=1}^N x_i \\ g_y = \frac{1}{N_y} \sum_{i=1}^N y_i \end{cases} \quad (9)$$

$$(10)$$

Perancangan Kedudukan Bearing

Prototipe pengujian eksentrisitas *bearing* terdiri atas landasan dan kedudukan *bearing*. Landasan *bearing* menggunakan landasan mikroskop yang lebih kuat dan tegar. Perbandingan berat landasan dan perangkat kedudukan *bearing* adalah 1:4 sehingga penelitian ini lebih difokuskan

pada kedudukan *bearing*. Prototipe kedudukan *bearing* dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Prototipe kedudukan bearing

Untuk menguji kebenaran atas rancangan yang dibuat, maka dilakukan beberapa pengujian, yaitu:

Pengujian kelurusan kedudukan bearing

Pengujian kelurusan *bearing* dilakukan dengan menggunakan prinsip *waterpas* dan menggunakan dua buah penyiku. Pengujian dengan *waterpas* dilakukan dengan meletakkan kedua ujung selang transparan yang diisi air pada kedudukan *bearing* yang terlihat pada Gambar 4

Gambar 4. Pengujian kelurusan dengan *waterpas*

Langkah kedua, yaitu menguji kelurusan kedudukan *bearing* terhadap meja. Sebuah penyiku diletakkan tegak lurus terhadap meja dan penyiku kedua diposisikan tegak lurus terhadap penyiku pertama. Pengujian kelurusan dilakukan dengan memutar kedudukan *bearing* dan melihat kelurusan terhadap penyiku. Pada Gambar 5 kedudukan *bearing* terlihat lurus terhadap penyiku kedua.

Gambar 5. Pengujian kelurusan dengan penyiku

Pengujian kesejajaran kedudukan bearing dengan mikroskop CCD

Pengujian kesejajaran kedudukan *bearing* dengan mikroskop CCD dilakukan dengan menjepitkan kalibrator mikroskop pada kedudukan *bearing*. Mikroskop CCD diset dari arah atas kalibrator untuk mendapatkan citra *bearing*. Jika alat uji mikroskop CCD dengan kedudukan *bearing* tidak sejajar, maka akan diperoleh bentuk citra kalibrator yang miring, serta jarak skala kalibrator yang tidak sama seperti terlihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Citra kalibrator yang tidak sejajar dengan kedudukan *bearing*

Pengujian eksentrisitas kedudukan bearing

Sebelum kepala bor digunakan sebagai kedudukan *bearing*, maka perlu dilakukan pengujian karakteristik eksentrisitas. Pengujian dilakukan dengan merekam titik tengah kepala bor pada setiap 30° putaran selama satu putaran penuh. Pengukuran eksentrisitas kepala dilakukan dengan

metode pusat massa. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa simpangan baku eksentrisitas kepala bor pada arah sumbu *x* (horizontal) adalah 1,3% dan arah *y* (vertikal) sebesar 0,6%.

Pengujian penyimpangan pemasangan bearing

Perlu usaha maksimal untuk memasang *bearing* tepat pada bagian eksentrik. Dalam upaya untuk meminimalisir kesalahan proyeksi mikroskop, maka ketidaktepatan pemasangan *bearing* harus dibatasi. Toleransi pemasangan *bearing* dibatasi sebesar 0,2 mm.

Skala piksel

Pengujian skala piksel dilakukan untuk mendapatkan nilai konversi piksel dalam milimeter. Pengujian dilakukan dengan membandingkan ukuran diameter badan *bearing* yang diukur dengan jangka sorong dengan jarak pada citra digital. Hasil pengukuran jangka sorong diperoleh diameter *bearing* sebesar $5 \pm 0,025$ mm sementara pada citra digital diperoleh 426 piksel. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai satu piksel sama dengan 0,01 mm.

Illuminator

Illuminator yang digunakan adalah lampu halogen 150 W yang memiliki dua lengan yang dapat diarahkan pada kedua pinggir *bearing*. Pengaturan pencahayaan perlu dilakukan untuk mendapatkan citra tepi *bearing* yang sempurna.

Rancangan Umum Sistem

Setelah *bearing* dipasangkan pada kedudukannya, goyangan *bearing* diuji dengan menggunakan jangka sorong. Jika goyangan *bearing* tidak melebihi 0,2 mm, maka citra *bearing* bisa didapatkan dengan menggunakan mikroskop CCD. Sebelum citra *bearing* diambil, sebuah illuminator

yang memiliki dua lengan sumber cahaya diarahkan pada kedua sisi samping *bearing*. Kedua cahaya ini untuk mendapatkan hasil citra tepi *bearing* sehingga mudah dalam pengolahan. Citra yang diperoleh dari mikroskop CCD ini disebut dengan citra mentah. Ukuran citra yang dipilih 1280×1024 piksel. Citra uji yang diambil pada setiap *bearing* ada 12 citra uji dan satu citra referensi. Citra referensi dipilih pada salah satu posisi. Sementara citra uji diambil pada setiap 30° sudut putaran. Citra mentah yang dihasilkan diolah oleh komputer. Dengan menggunakan perangkat lunak Matlab 2010a pada komputer, citra di-*cropping* sehingga hanya memperlihatkan badan *bearing* seperti yang terlihat pada Gambar 7. Tahap selanjutnya, citra disiapkan menjadi citra hitam putih dengan menggunakan teknik *threshold* agar mudah membedakan antara objek *bearing* dan latar seperti Gambar 8. Proses perubahan dan pemotongan citra ini disebut dengan proses pra-pengolahan. Pra-pengolahan diberlakukan terhadap semua citra yang diambil.

Gambar 7. *Cropping* awal setiap citra

Gambar 8. Citra hasil *threshold* citra *bearing*

Pada Gambar 9 terlihat citra *bearing* uji yang didapat memiliki variasi jarak dengan tepi *fit of view* sehingga diperlukan transformasi penyamaan posisi. Ketidaksamaan bentuk ini akibat kurang sempurnanya pemasangan *bearing* pada kedudukan uji. Untuk mengatasi hal ini citra diregistrasi dengan acuan citra referensi seperti yang terlihat pada Gambar 9. Hasil dari referensi ini menghasilkan bentuk badan *bearing* yang sama tetapi tidak meregistrasi pada bagian jarum *bearing*. Dengan kondisi seperti itu, maka analisis eksentrisitas pada ujung jarum *bearing* dapat dilakukan. Analisis eksentrisitas dilakukan dengan metode pusat massa. Pada Gambar 10 terlihat alur pengolahan dan penentuan eksentrisitas *upper bearing* kWH meter.

Gambar 9. Perbandingan citra registrasi dengan citra referensi

Gambar 10. Diagram alir pengolahan dan penentuan eksentrisitas *upper bearing* kWH meter

STUDI KASUS DAN ANALISIS SISTEM

Untuk melakukan pengujian terhadap sistem yang dibangun, maka dilakukan pengujian terhadap tiga contoh *bearing*. Ketiga contoh *bearing* ini merupakan contoh *bearing* satu jenis. Masing-masing *bearing* diperoleh 13 citra dengan satu citra referensi dan 12 citra sampel. Setiap citra sampel diputar dengan besar sudut antar sampel 30° . Pada pengolahan citra, sampel-sampel *bearing* dipotong sama dengan memperlihatkan badan *bearing* serta jarum *bearing*. Hal ini dilakukan agar perlakuan setiap sampel pada setiap *bearing* adalah sama. Pemotongan *bearing* juga harus mempertimbangkan ruang kosong ke kiri dan kanan *bearing*. Hal ini untuk memberikan ruang pada saat *bearing* bergoyang karena ketidaktepatan pemasangan *bearing* pada kedudukannya. Dengan perlakuan yang sama ini, setiap sampel *bearing* akan secara mudah dianalisis. Agar terlihat perbedaan antara objek *bearing* dengan latarnya, dengan *threshold* setiap sampel *bearing* diubah menjadi bentuk hitam dan putih sesuai dengan skala keabu-abuan masing-masing citra, dimana objek *bearing* berwarna putih dan

latar berwarna hitam. Pada 12 urutan citra suatu *bearing*, diperoleh ketidaksamaan jarak antara tepi *bearing* dengan tepi *fit of view* seperti yang terlihat pada Gambar 11. Untuk dapat menyejajarkan citra uji dengan citra referensi, maka dilakukan proses registrasi citra (lihat Persamaan 1 s.d. 7).

Gambar 11. Perbedaan jarak tepi *bearing* – tepi *fit of view* dari suatu urutan citra *bearing*

Citra *bearing* yang telah sejajar di-*cropping* yang hanya menyisakan jarum *bearing* untuk menghitung eksentrisitas dengan metode pusat massa. Posisi poros jarum *bearing* diperoleh dengan mencari nilai rata-rata setiap piksel yang membentuk jarum. Posisi jarum digambarkan dalam koordinat *cartecius*, dimana sumbu horizontal merupakan sumbu x sementara sumbu y digambarkan dengan sumbu koordinat vertikal. Koordinat xy pada citra juga dapat dilihat pada Gambar 12.

Gambar 12. Ujung *bearing* dan koordinat x dan y pada citra

Perhitungan eksentrisitas *bearing* diperoleh dengan menggunakan metode pusat massa (lihat persamaan (9) dan (10)), sehingga diperoleh nilai standar deviasi atau simpangan baku. Nilai ini merupakan penggambaran atas perubahan posisi terhadap sumbu x dan sumbu y setiap *bearing*. Perubahan nilai ini menjadi standar kesalahan eksentrisitas *bearing*. Dari ketiga jenis *bearing* ini, terlihat jelas bahwasanya *bearing* kedua memiliki simpangan baku yang paling besar, yaitu sebesar 7,4%. Pada pengujian dengan metode pusat massa, diperoleh nilai simpangan baku pada sumbu x (horizontal) lebih besar jika dibandingkan dengan sumbu y (vertikal).

Tabel 1. Simpangan Baku *bearing* pada tiap sumbu koordinat

Bearing	Sumbu	Pusat Massa (mm)	Simpangan Baku (%)
1	x	0,0196	1,96
	y	0,0036	0,36
2	x	0,0743	7,43
	y	0,0194	1,94
3	x	0,0394	3,94
	y	0,0074	0,74

Ket : x = Sumbu horizontal, y = Sumbu vertikal

Hal ini memperlihatkan bahwa eksentrisitas *bearing* lebih maksimal dapat dideteksi secara horizontal dibandingkan secara vertikal. Dari hasil simpangan baku pengujian tiga *bearing* yang dilakukan terhadap sumbu x, diperoleh hasil bahwa *bearing* 2 merupakan *bearing* yang memiliki nilai simpangan baku yang terbesar dan *bearing* 1 memiliki nilai simpangan baku terkecil.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dibuat prototipe perangkat sistem vision yang telah mampu menentukan kualitas eksentrisitas *upper bearing* kWh meter. Dari

percobaan yang dilakukan yang dilakukan, diperoleh simpangan baku *bearing* 1 pada sumbu y = 0,0036 atau 0,36 % dan sumbu x = 0,0196 atau 1,96%. Pada *bearing* 2 diperoleh nilai simpangan baku pada sumbu y = 0,0194 atau 1,94% dan sumbu x = 0,0743 atau 7,43%. Adapun nilai *bearing* 3 diperoleh simpangan baku pada arah sumbu y = 0,0074 atau 0,74% dan sumbu x = 0,0394 atau 3,94%. Simpangan baku *bearing* pada sumbu x lebih besar dari sumbu y. Ini berarti bahwa pengujian eksentrisitas *upper bearing* lebih mudah dideteksi pada sumbu x.

SARAN

Untuk menyempurnakan prototipe perangkat sistem vision pengujian eksentrisitas *upper bearing* kWh meter, perlu digunakan pencahayaan homogen dan menghubungkan pegangan *bearing* dengan komputer sehingga diperoleh citra yang lebih maksimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Suprijanto, S.T., MT. dan Prof. Dr. Ir. Pantjar Simatupang, M.S. yang telah membantu dalam penulisan Karya Tulis Ilmiah ini.

DAFTAR ACUAN

- Bird, J. 2001. "Electrical Measuring Instruments and Measurements." In *Electrical Circuit Theory and Technology*, 112–36. doi:10.1016/B978-0-08-050516-9.50014-1.
- Bosch, John. 2012. *Coordinate Measuring Machines and Systems*. Edited by Robert J. Hocken & Paulo H. Pereira. Second. New York, US: CRC Press. <https://id.scribd.com/doc/209430989/Coordinate-Measuring-Machines-and-Systems>.

- Derganc, Jože, Boštjan Likar, and Franjo Pernuš. 2003. "A Machine Vision System for Measuring the Eccentricity of Bearings." *Computers in Industry* 50 (1): 103–11. doi:10.1016/S0166-3615(02)00141-0.
- Kim, Woo-Bum. 2001. "Ultimate Strength of Tube-gusset Plate Connections Considering Eccentricity." *Elsevier : Engineering Structures* 23: 1418–1426.
- Li, Wei, Weidong Shi, and Xiaoping Jiang. 2015. "Research on the Liquid Film Force of Water Lubricated Bearing in Desalination Multistage Pumps and Its Coupled Dynamics with Rotor." *Journal of Coastal Research*, no. 73: 453–58. doi:10.2112/SI73-080.1.
- Liu, Xiaoyan, Zhiwei Lu, Xin Wang, Dexin Ba, and Chengyu Zhu. 2015. "Micrometer Accuracy Method for Small-Scale Laser Focal Spot Centroid Measurement." *Optics & Laser Technology* 66: 58–62. doi:10.1016/j.optlastec.2014.07.016.
- Niskanen, Ville, Annette Muetze, and Jero Ahola. 2014. "Study on Bearing Impedance Properties at Several Hundred Kilohertz for Different Electric Machine Operating Parameters." *IEEE Transactions on Industry Applications* 50 (5): 3438–47. doi:10.1109/TIA.2014.2308392.
- Schalk, P., R. Ofner, and P. O'Leary. 2007. "Pipe Eccentricity Measurement Using Laser Triangulation." *Image and Vision Computing* 25 (7): 1194–1203. doi:10.1016/j.imavis.2006.04.021.
- Ueda, Masahiro, Fumitaka Murase, Fumio Takahashi, and Toshiro Matsumoto. 1999. "An Optical System for Measuring the Eccentricity of Glass Wool Pipe-for Industrial Use." *Optics and Lasers in Engineering* 31 (6): 493–501. doi:10.1016/S0143-8166(99)00030-5.
- Woziwodzki, Szymon, Lubomira Broniarz-Press, and Marek Ochowiak. 2010. "Effect of Eccentricity on Transitional Mixing in Vessel Equipped with Turbine Impellers." *Chemical Engineering Research and Design* 88 (12): 1607–14. doi:10.1016/j.cherd.2010.04.007.
- Xu, Wei, Qi Li, Hua-jun Feng, Zhi-hai Xu, and Yue-ting Chen. 2013. "A Novel Star Image Thresholding Method for Effective Segmentation and Centroid Statistics." *Optik-International Journal for Light and Electron Optics* 124 (20): 4673–77. doi:10.1016/j.ijleo.2013.01.067.
- Yang, Mingqiang, K Kpalma, and Joseph Ronsin. 2008. "A Survey of Shape Feature Extraction Techniques." *Pattern Recognition* 2008 (November): 43–90. doi:10.5772/6237.
- Ye, Junwei, Kecheng Yang, Hao Liu, Jie Dai, Wenping Guo, Wei Li, and Min Xia. 2015. "Expand the Measurement Range of a Critical Angle Refractometer by a Centroid Method for Transparent Fluids." *Optics and Laser Technology* 65: 175–79. doi:10.1016/j.optlastec.2014.07.013.
- Yu, Wennian, Chris K. Mechefske, and Markus Timusk. 2017. "The Dynamic Coupling Behaviour of a Cylindrical Geared Rotor System Subjected to Gear Eccentricities." *Mechanism and Machine Theory* 107: 105–22. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2016.09.017.
- Yuerong Peng, Xide Lai, Weibin Zhang, Qiuqin Gou, Tang Jian. 2015. "Analysis on Impact of Guide Bearing System on Characteristics of Hydro Turbine Shaft System." *Hydroelectric Engineering* 34: 106–33. doi:20150914.
- Zahra, Sobia, Mustansar Ali Ghazanfar, Asra Khalid, Muhammad Awais Azam, Usman Naeem, and Adam Prugel-Bennett. 2015. "Novel Centroid Selection Approaches for KMeans-Clustering Based Recommender Systems." *Information Sciences* 320: 156–89. doi:10.1016/j.ins.2015.03.062.
- Zhao, Zhu, Mei Hui, Ming Liu, Liquan Dong, Xiaohua Liu, and Yuejin Zhao. 2015. "Centroid Shift Analy-

sis of Microlens Array Detector in Interference Imaging System.” *Optics Communications* 354: 132-39. doi:10.1016/j.optcom.2015.05.049.

Zhu, Lei, and Li Ma. 2016. “Class Centroid Alignment Based Domain Adaptation for Classification of Remote Sensing Images.” *Pattern Recognition Letters*. doi:10.1016/j.patrec.2015.12.015.